

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

Završni rad

Antun Plenković

Zagreb, 2019.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

Završni rad

Mentor:

Prof. dr. sc. Lovorka Grgec Bermanec, dipl. ing.

Student:

Antun Plenković

Zagreb, 2019.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se svojoj mentorici prof. dr. sc. Lovorki Grgec Bermanec na mentorstvu, korisnim savjetima, susretljivosti i strpljenju tijekom izrade ovog rada.

Također, zahvaljujem se tehničkom suradniku Alenu Jurišincu na pomoći prilikom izvođenja mjerenja potrebnih za ovaj završni rad i kolegici Janji Palačić na lektoriranju.

Antun Plenković



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

| | |
|-------------------------------------|--------|
| Sveučilište u Zagrebu | |
| Fakultet strojarstva i brodogradnje | |
| Datum: 22-02-2019 | Prilog |
| Klasa: 602-C4/19-6/3 | |
| Ur.broj: 15-1705-19-141 | |

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **ANTUN PLENKOVIĆ**

Mat. br.: 0035196531

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Interna provjera rezultata mjerenja tlaka na etalonskim tlačnim vagama različitih efektivnih površina**

Naslov rada na engleskom jeziku: ***Internal check of pressure measurement results on standard pressure balances of different effective areas***

Opis zadatka:

Mjerenje i umjeravanje je proces koji zahtijeva stalno potvrđivanje rezultata i iskazanih mjernih nesigurnosti. S ciljem otkrivanja sustavnih pogrešaka te dobivanja i održavanja akreditacije, umjerni laboratoriji uvode odgovarajuće vanjske i unutarnje mjere osiguranja kvalitete rezultata kao što su: međulaboratorijske usporedbe, praćenje ponovljivosti i obnovljivosti.

Svrha ovog rada je organizirati, provesti, opisati i analizirati internu usporedbu rezultata mjerenja tlaka na etalonskim tlačnim vagama različitih efektivnih površina. U radu koristiti etalonsku mjernu opremu Laboratorija za procesna mjerenja (LPM-a) u području 0 do 14 MPa koristeći ulje kao tlačni medij.

Potrebno je izraditi:

- Pregled osnova fizike mjerenja tlaka do 14 MPa.
- Pregled normi i uputa za provedbu međulaboratorijskih usporedbi i obradu rezultata.
- Protokol interne provjere za tlačne vage.
- Opis etalona, sheme spajanja i postupak određivanja efektivnog tlaka.
- Opis provedenih mjerenja u LPM-u i procjenu mjerne nesigurnosti.
- Analizu rezultata provjere određivanjem odstupanja i En vrijednosti.

U radu navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

29. studenog 2018.

Rok predaje rada:

1. rok: 22. veljače 2019.

2. rok (izvanredni): 28. lipnja 2019.

3. rok: 20. rujna 2019.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 25.2. - 1.3. 2019.

2. rok (izvanredni): 2.7. 2019.

3. rok: 23.9. - 27.9. 2019.

Zadatak zadao:

Izv. prof. dr. sc. Lovorka Grgec Bermanec

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Igor Balen

SADRŽAJ

| | |
|--|-----|
| SADRŽAJ | I |
| POPIS SLIKA | II |
| POPIS TABLICA..... | III |
| SAŽETAK..... | IV |
| SUMMARY | V |
| UVOD | 1 |
| 1.1. O mjeriteljstvu | 1 |
| 1.2. Osnovni pojmovi | 2 |
| 1.2.1. Mjerenje | 2 |
| 1.2.2. Umjeravanje | 2 |
| 1.2.3. Mjeriteljstvo | 2 |
| 1.2.4. Etalon | 2 |
| 1.2.5. Osnovno o tlaku..... | 2 |
| 1.3. Tlačna vaga..... | 3 |
| 1.3.1. Efektivni tlak..... | 4 |
| 2. POSTUPAK MJERENJA | 6 |
| 2.1. Korištena oprema..... | 7 |
| 2.2. Određivanje početnih uvjeta | 11 |
| 2.3. Uvjeti usporedbe | 11 |
| 2.4. Mjerenja..... | 12 |
| 3. REZULTATI..... | 13 |
| 3.1. TLVAG 01-01 (do 60 bar)..... | 13 |
| 3.2. TLVAG 01-03 (do 600 bar)..... | 15 |
| 3.3. TLVAG 02-01 (do 120 bar)..... | 17 |
| 3.4. TLVAG 07 (do 70 bar) | 19 |
| 3.5. TLVAG 08 (do 1400 bar)..... | 21 |
| 3.6. Prikaz odstupanja tlačnih sklopova za zadane točke mjerenja | 23 |
| 4. ZAKLJUČAK | 26 |
| LITERATURA..... | 27 |

POPIS SLIKA

| | |
|---|----|
| Slika 1. Sklop klip cilindar | 3 |
| Slika 2. Pretvornik tlaka Druck (0-135 bar) | 7 |
| Slika 3. Tlačna vaga Budenberg 600 | 8 |
| Slika 4. Tlačni sklopovi TLVAG 02-01(lijevo) i TLVAG01-01/03 (desno) | 9 |
| Slika 5. Tlačna vaga WIKA T1300 | 10 |
| Slika 6. Sklopovi TLVAG 07 i TLVAG 08 s pripadajućim osnovnim utezima | 11 |
| Slika 7. Grafički prikaz odstupanja TLVAG 01-01 (do 60 bar) | 14 |
| Slika 8. Grafički prikaz odstupanja TLVAG 01-03 (do 600 bar) | 16 |
| Slika 9. Grafički prikaz odstupanja LAB 2 | 18 |
| Slika 10. Grafički prikaz odstupanja TLVAG 07 (do 70 bar) | 20 |
| Slika 11. Grafički prikaz odstupanja TLVAG 08 (do 1400 bar) | 22 |
| Slika 12. Grafički prikaz odstupanja za 20 bar | 23 |
| Slika 13. Grafički prikaz odstupanja za 60 bar | 24 |
| Slika 14. Grafički prikaz odstupanja za 100 bar | 24 |
| Slika 15. Grafički prikaz odstupanja za 120 bar | 25 |

POPIS TABLICA

| | |
|---|----|
| Tablica 1. Međunarodni sustav jedinica..... | 1 |
| Tablica 2. Redoslijed mjerenja..... | 12 |
| Tablica 3. Rezultati mjerenja TLVAG 01-01 (do 60 bar)..... | 14 |
| Tablica 4. Rezultati mjerenja TLVAG 01-03 (do 600 bar)..... | 16 |
| Tablica 5. Rezultati mjerenja TLVAG 02-01 (do 120 bar)..... | 18 |
| Tablica 6. Rezultati mjerenja TLVAG 07 (do 70 bar) | 20 |
| Tablica 7. Rezultati mjerenja TLVAG 08 (do 1400 bar) | 22 |

SAŽETAK

Kako bi osigurali što kvalitetnije rezultate mjerenja i bili sigurni u postojane mjerne nesigurnosti, važno je periodično umjeravanje mjerila pomoću kojeg provjeravamo točnosti rezultata dobivenih na istim. Laboratorij za procesna mjerenja Fakulteta strojarstva i brodogradnje posjeduje više tlačnih sklopova od kojih je na pet, za potrebe ovog završnog rada, izvršeno mjerenje na unaprijed dogovorenim točkama.

Predmet mjerenja bile su različite uljne tlačne vage za koje su ispitane na tlakovima od 20, 60, 100 i 120 bara vodeći računa o protokolu mjerenja. Zadatak ovoga rada bio je provesti, opisati i izvršiti analizu interne provjere mjerila koristeći uvijek isti pokazatelj tlaka. U radu je korištena etalonska oprema Laboratorija za procesna mjerenja u području 0 do 14 MPa koristeći ulje kao tlačni medij.

U sklopu ovog završnog rada dan je pregled osnova fizike mjerenja tlaka do 14 MPa, protokol interne provjere za tlačne vage te opis etalona, sheme spajanja i postupak određivanja efektivnog tlaka. Mjerenja su opisana te je procijenjena mjerna nesigurnost.

Nakon obavljenih mjerenja, rezultati su obrađeni te su izračunata odstupanja svake tlačne vage i za svaku pojedinu točku mjerenja.

Ključne riječi: mjerna nesigurnost; tlačna vaga; etalon

SUMMARY

Periodical calibration of standard with which we determine accuracy of results is important for having what better results of measurement and for determining measurable insecurity. Laboratory for process measurement of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture is in possession of several pressure scales of which five were used in this final work on beforehand agreed values.

Subjects of measurement were different oil pressure scales which were tested for pressures of 20, 60, 100 and 120 bar, with respect to the measurement protocol. The task was to test the measurable insecurity using the same pressure transducer each time. Used equipment was the standard of Laboratory for process measurement for range from 0 to 14 MPa using oil as a pressure medium.

In this final work, basics of physics for measuring pressure up to 14 MPa were given, protocol for internal review, schematics and procedure of determining effective pressure were described. After the measurements were done, results were processed and measurable insecurity was determined for each pressure scale at all predetermined pressures.

Key words: measurable insecurity; pressure scale; standard

UVOD

1.1. O mjeriteljstvu

Kroz cijelu povijest, opisivanje i određivanje koliko je nešto veliko, teško, dugačko ili široko bilo je bitno i potrebno nizu ljudi i različitih razloga. Kako bi opisali pojedine veličine, uveli smo pojam „jedinice“ pomoću koje opisujemo veličinu nekog svojstva. Za svaku osnovnu jedinicu, bilo je potrebno dogovorno odrediti koliko ona iznosi. Jedne od prvih definiranih jedinica bile su za masu (kilogram) i duljinu (metar) kroz 18. i 19. stoljeće u Francuskoj. Upravo je u Parizu osnovan Međunarodni ured za utege i mjere (BIPM) koji je pod nadzorom Međunarodni odbora za utege i mjere kojeg čine mnogobrojne članice država. Ti događaji su omogućili da danas možemo definirati neku izmjeru bez obzira na ograničavajuće faktore poput različitosti jezika i omogućili uspostavljanje međunarodnog sustava jedinica (SI).

Tablica 1. Međunarodni sustav jedinica

| Veličina | Oznaka | Naziv |
|----------------------------|--------|----------|
| Duljina | m | Metar |
| Masa | kg | Kilogram |
| Vrijeme | s | Sekunda |
| Električna struja | A | Amper |
| Termodinamička temperatura | K | Kelvin |
| Količina tvari | mol | Mol |
| Svjetlosna jakost | cd | kandela |

1.2. Osnovni pojmovi

1.2.1. Mjerenje

Mjerenje je postupak određivanja vrijednosti mjerne veličine

1.2.2. Umjeravanje

Umjeravanje je proces određivanja odnosa između etalonskih vrijednosti i mjernih veličina na nekom mjerilu.

1.2.3. Mjeriteljstvo

Znanost o mjerenju se zove mjeriteljstvo. Bavi se svim problemima koje pronalazimo mjerenja te jedinicama, mjerilima, etalonima i njihovoj primjeni.

1.2.4. Etalon

Etaloni su osnovna, najpreciznija mjerila prema kojima umjeravamo sva ostala mjerila. Etalone uvijek smatramo točnijima od mjerila koja umjeravamo i potrebno je da su stabilni u velikom rasponu vremena.

Kod mjerenja tlakova ćemo najčešće koristiti tlačne vage, jer su one najprecizniji instrumenti za mjerenje tlaka.

1.2.5. Osnovno o tlaku

Tlak je definiran kao omjer sile okomito na jediničnu površinu. Općenita formula glasi:

$$p = \frac{F}{A}$$

F – sila koja djeluje okomito (u smjeru normale) na površinu

A – površina

Mjerna jedinica tlaka je Pascal [Pa] prema SI sustavu, nazvana po Blaiseu Pascalu. Dobivena je omjerom jednog njutna [N] po metru kvadratnom [m²]:

$$\frac{N}{m^2} = Pa$$

Pascal je izuzetno mala jedinica za tlak pa se u svakodnevnoj upotrebi služimo barom[bar]:

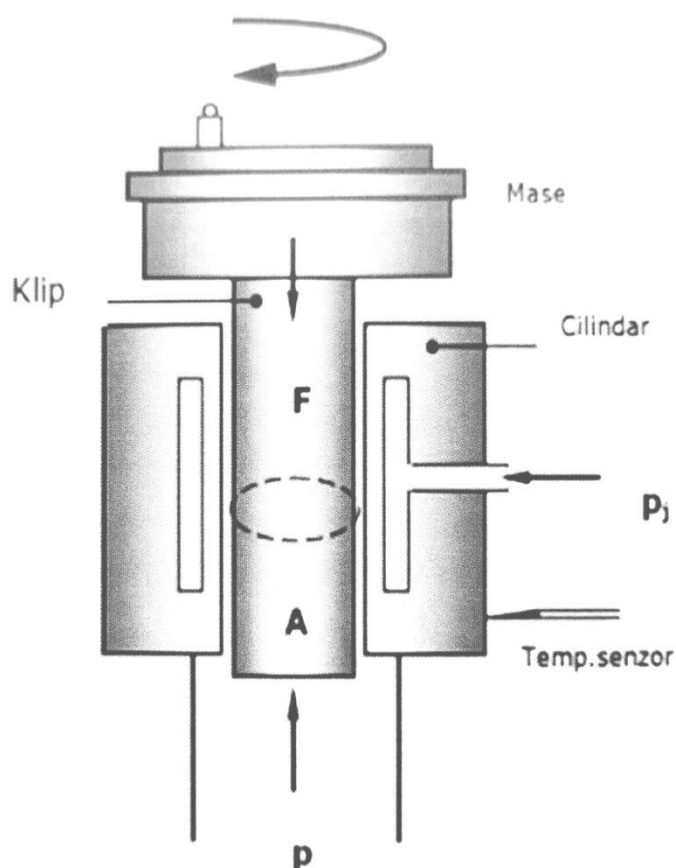
$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$$

1.3. Tlačna vaga

Princip rada tlačne vage se temelji na zakonu promjene hidrostatskog tlaka. Tlak se generira djelovanjem sile na poznatu površinu. Osnovi dio svake tlačne vage je sklop klip/cilindar. Sklop se sastoji od vrlo precizno izraženog okomitog klipa i cilindra u kojeg ulazi. Između je fluid poznatih svojstava koji ujedno i podmazuje sklop. Na vrh klipa se stavljaju cilindrični utezi dok se na donji dio najčešće dovodi ulje, plin ili voda. Kada se uspostavi ravnoteža između opterećenja i narinutog tlaka, utezi se zarotiraju kako bi se eliminiralo trenje između cilindra i klipa.

Podjela tlačnih vaga prema radnom mediju:

- Uljne tlačne vage – za više tlakove
- Plinske tlačne vage – za niže tlakove
- Vodene tlačne vage – za niže tlakove



Slika 1. Sklop klip cilindar

Podjela tlačnih vaga s obzirom na konstrukciju:

- Jednostavna konfiguracija $p_j = 0$

Mjereni tlak djeluje samo na bazu klipa. Najčešće korištena i najjednostavnija. Maksimalni tlak je do 500 MPa.

- Konfiguracija $p_j = p_j$

Kod ove konfiguracije, tlak djeluje i na oplošje cilindra. Maksimalni tlakovi su do 700 MPa.

- Tlakom kontrolirani zazor $p_j \neq 0$

Dimenzije zazora ovise o konstrukcijskoj geometriji, zazoru između klipa i cilindra, konstanti elastičnosti i svojstvima fluida. Koristi se za tlakove iznad 500 MPa.

1.3.1. Efektivni tlak

S obzirom na to da se ne radi o idealnom sklopu, tlak dobiven na tlačnoj vagi će biti jednak:

$$p_e = \frac{F}{A_e}$$

p_e – efektivni tlak generiran na sklopu

F – ukupna sila koja djeluje na normalu površine

A_e – efektivna površina

Zbog nesavršenosti sklopa, bitno je unijeti korekcije u proračun tlaka. Korekcije će se odnositi na:

- Elastične deformacije sklopa
- Konstantu gravitacije
- Uzgonsko djelovanje zraka i radnog fluida
- Površinsku napetost
- Razliku u visini stupca fluida i tlak okoline
- Utjecaj temperature i rastezanje uslijed nje

Jednadžba za efektivni tlak glasi:

$$p_e = \frac{[\sum_{i=0}^n [m_i * (1 - \frac{\rho_a}{\rho_{mi}})] + (hA_0 - v) * (\rho_f - \rho_a)] * h * \cos\theta + \Gamma * c}{A_0 * (1 + \lambda + p_e) * [1 + (\alpha_k + \alpha_c) * (t - 20)]}$$

gdje je:

p_e – efektivni tlak generiran na sklopu

m_i – prava masa i-tog utega na sklopu

ρ_a – gustoća zraka okoline

ρ_{mi} – gustoća i-tog utega

ρ_f – gustoća radnog medija

α_k – koeficijent temperaturnog rastezanja klipa

α_c – koeficijent temperaturnog rastezanja cilindra

A_0 – efektivna površina sklopa pri nultom tlaku

t – temperatura za vrijeme ispitivanja

λ – koeficijent elastične deformacija

θ – kut nagiba osi klipa u odnosu na vertikalu

v – volumen za koji se radi korekcija zbog uzgonskog djelovanja fluida

h – razlika etalonskog i ispitivanog sklopa

Γ – opseg klipa

c – površinska napetost radnog medija

g – konstanta gravitacije

2. POSTUPAK MJERENJA

Za potrebe izrade ovog završnog rada rađena su mjerenja na pet različitih sklopova tlačnih vaga koji se svi nalaze u Laboratoriju za procesna mjerenja fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu (LPM - FSB).

Laboratorij za procesna mjerenja FSB-a je nositelj državnih etalona Republike Hrvatske za temperaturu, tlak i vlažnost Hrvatskog mjeriteljskog instituta (HMI-a) i akreditirani je umjerni laboratorij prema normi ISO/IEC 17025 od 2002. godine. Laboratorij se osim navedenih veličina, bavi i mjerenjem toplinskim svojstvima tvari i protocima.

2.1. Korištena oprema

Mjerilo: Pretvornik tlaka

Proizvođač: Druck

Tvornički broj: SIN 189613/Indikacija 615 16256

Tip: Osjetnik PDCR 2200-1939

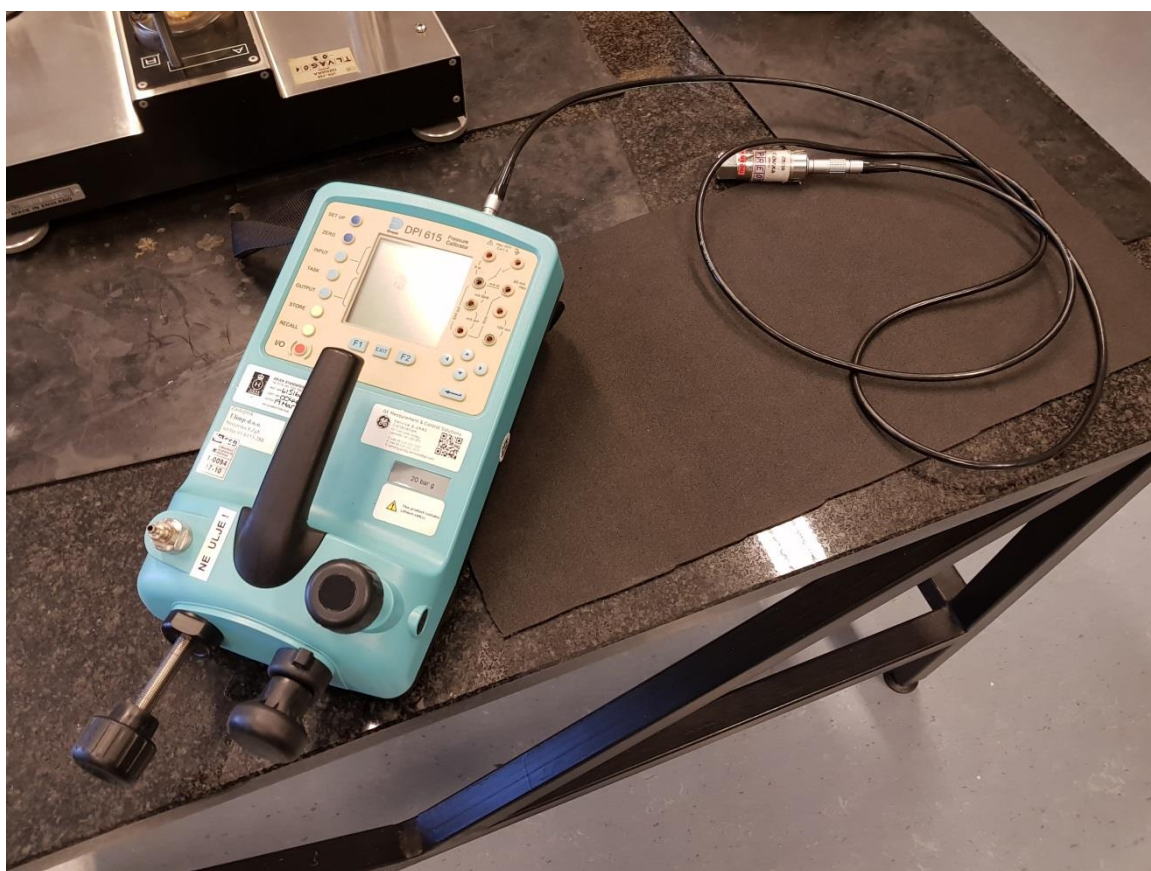
Mjerno područje: 0-135

Jedinica tlaka: bar

Podjela skale: 0,01

Razred točnosti: 0,025%

Vlasnik mjerila: FSB - LPM



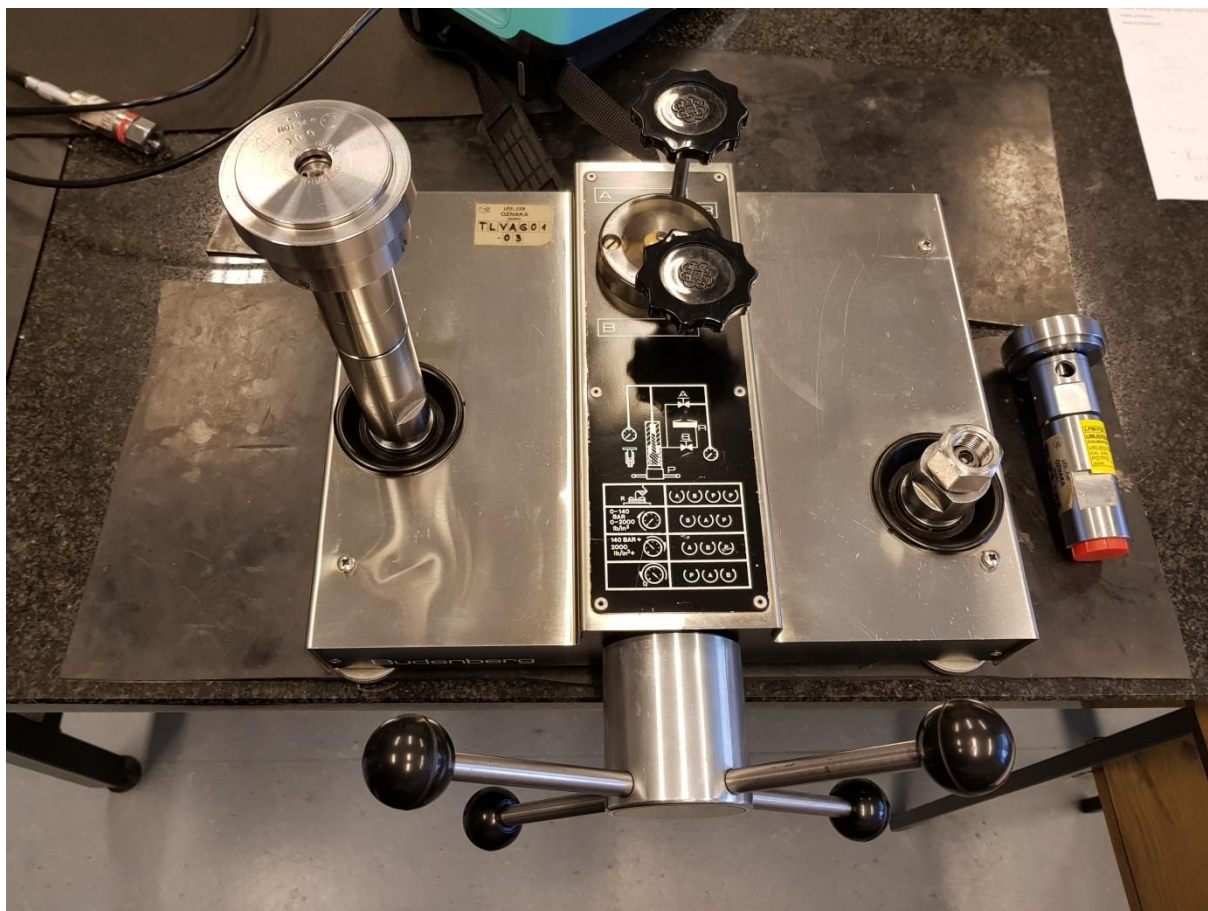
Slika 2. Pretvornik tlaka Druck (0-135 bar)

Uređaj: Tlačna vaga

Proizvođač: Budenberg 600

Mjerno područje: 0-600 bar

Vlasnik mjerila: LPM – FSB



Slika 3. Tlačna vaga Budenberg 600



Slika 4. Tlačni sklopovi TLVAG 02-01(lijevo) i TLVAG01-01/03 (desno)

Uređaj: Tlačna vaga

Proizvođač: WIKA T1300

Mjerno područje: 0-1400 bar

Vlasnik mjerila: LPM – FSB



Slika 5. Tlačna vaga WIKA T1300



Slika 6. Sklopovi TLVAG 07 i TLVAG 08 s pripadajućim osnovnim utezima

2.2. Određivanje početnih uvjeta

Prije svakog početka mjerenja izmjerene su vrijednosti:

- Temperature
- Tlaka zraka
- Vlažnosti
- Temperature sklopa

2.3. Uvjeti usporedbe

Usporedba kvalitete mjerenja tlačnih vaga je izvršena tako što je na različitim sklopovima mjeren tlak u dogovorenim točkama koristeći pritom uvijek isti pokazatelj tlaka. Sklopovi bi se prvo maksimalno opteretili, zatim rasteretili i provjerili da li očitavanje u neopterećenom stanju pokazuje nulu. Ako bi pokazatelj tlaka, u ovom slučaju pretvornik, pokazao nultu vrijednost, počeli bi s mjerenjem počevši od najmanjeg tlaka od 20 bara do najvećeg od 120 bara po redu. Kod sklopova koji nisu mogli mjeriti neke tlakove zadanih točaka zbog manjeg raspona tlakova, preskočili smo mjerenje.

2.4. Mjerenja

Mjerenja su obavljena redom u na sljedećim tlakovima:

- 20 bara
- 60 bara
- 100 bara
- 120 bara

Tablica 2. Redoslijed mjerenja

| Redni broj mjerenja | Mjereni sklop | Datum |
|---------------------|---------------|------------|
| 1. | TLVAG 01-01 | 30.8.2018. |
| 2. | TLVAG 01-03 | 30.8.2018. |
| 3. | TLVAG 02-01 | 31.8.2018. |
| 4. | TLVAG 07 | 31.8.2018. |
| 5. | TLVAG 08 | 31.8.2018. |

3. REZULTATI

3.1. TLVAG 01-01 (do 60 bar)

Mjerilo: Pretvornik tlaka

Proizvođač: Druck

Tvornički broj: SIN 189613/Indikacija 615 16256

Tip: Osjetnik PDCR 2200-1939

Mjerno područje: 0-135

Jedinica tlaka: bar

Podjela skale: 0,01

Razred točnosti: 0,025%

Vlasnik mjerila: FSB - LPM

Radni etalon: Tlačna vaga Budenberg 600

Interna oznaka: TLVAG_01-01

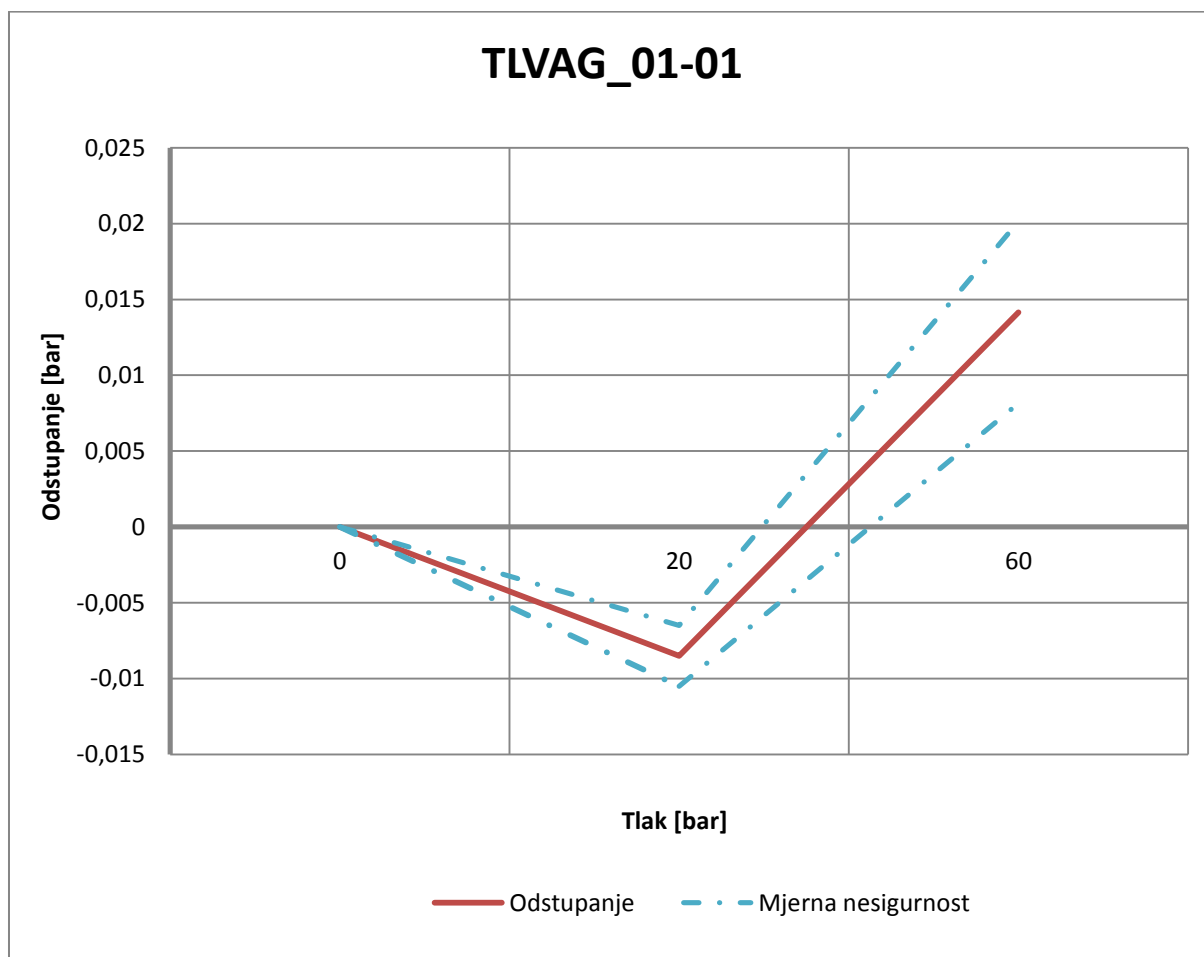
Nesigurnost etalona: $1 * 10^{-4}$

Uvjeti ispitivanja:

- Temperatura: 26 °C
- Temperatura sklopa: 25,7°C
- Tlak: 1001 mbar
- Relativna vlažnost: 50%
- Tlačni medij: ulje
- Razlika u visini: 40 mm

Tablica 3. Rezultati mjerenja TLVAG 01-01 (do 60 bar)

| Efektivni tlak | Očitanje mjerila | Odstupanje | Mjerna nesigurnost |
|----------------|------------------|------------|--------------------|
| p_e | M | $M-p_e$ | U |
| bar | bar | bar | bar |
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 20,00 | 19,99 | -0,01 | 0,002 |
| 59,99 | 60,00 | 0,01 | 0,006 |



Slika 7. Grafički prikaz odstupanja TLVAG 01-01 (do 60 bar)

3.2. TLVAG 01-03 (do 600 bar)

Mjerilo: Pretvornik tlaka

Proizvođač: Druck

Tvornički broj: SIN 189613/Indikacija 615 16256

Tip: Osjetnik PDCR 2200-1939

Mjerno područje: 0-135

Jedinica tlaka: bar

Podjela skale: 0,01

Razred točnosti: 0,025%

Vlasnik mjerila: FSB - LPM

Radni etalon: Tlačna vaga Budenberg 600

Interna oznaka: TLVAG_01-03

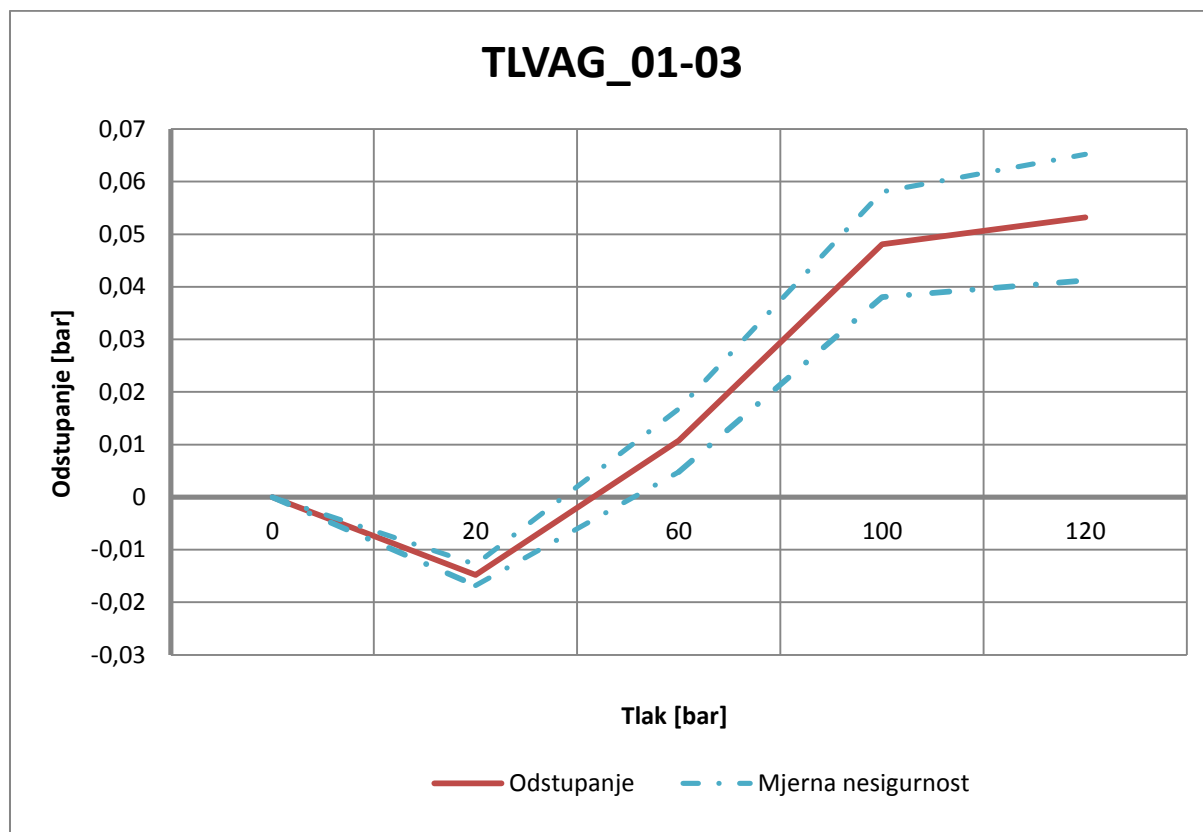
Nesigurnost etalona: $1 * 10^{-4}$

Uvjeti ispitivanja:

- Temperatura: 26 °C
- Temperatura sklopa: 25,7°C
- Tlak: 1001 mbar
- Relativna vlažnost: 50%
- Tlačni medij: ulje
- Razlika u visini: 40 mm

Tablica 4. Rezultati mjerenja TLVAG 01-03 (do 600 bar)

| Efektivni tlak | Očitanje mjerila | Odstupanje | Mjerna nesigurnost |
|----------------|------------------|------------|--------------------|
| p_e | M | $M-p_e$ | U |
| bar | bar | bar | bar |
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 20,00 | 19,99 | -0,01 | 0,002 |
| 59,99 | 60,00 | 0,01 | 0,006 |
| 99,98 | 100,03 | 0,05 | 0,010 |
| 119,98 | 120,03 | 0,05 | 0,012 |



Slika 8. Grafički prikaz odstupanja TLVAG 01-03 (do 600 bar)

3.3. TLVAG 02-01 (do 120 bar)

Mjerilo: Pretvornik tlaka

Proizvođač: Druck

Tvornički broj: SIN 189613/Indikacija 615 16256

Tip: Osjetnik PDCR 2200-1939

Mjerno područje: 0-135

Jedinica tlaka: bar

Podjela skale: 0,01

Razred točnosti: 0,025%

Vlasnik mjerila: FSB - LPM

Radni etalon: Tlačna vaga Budenberg 600

Interna oznaka: TLVAG_02-01

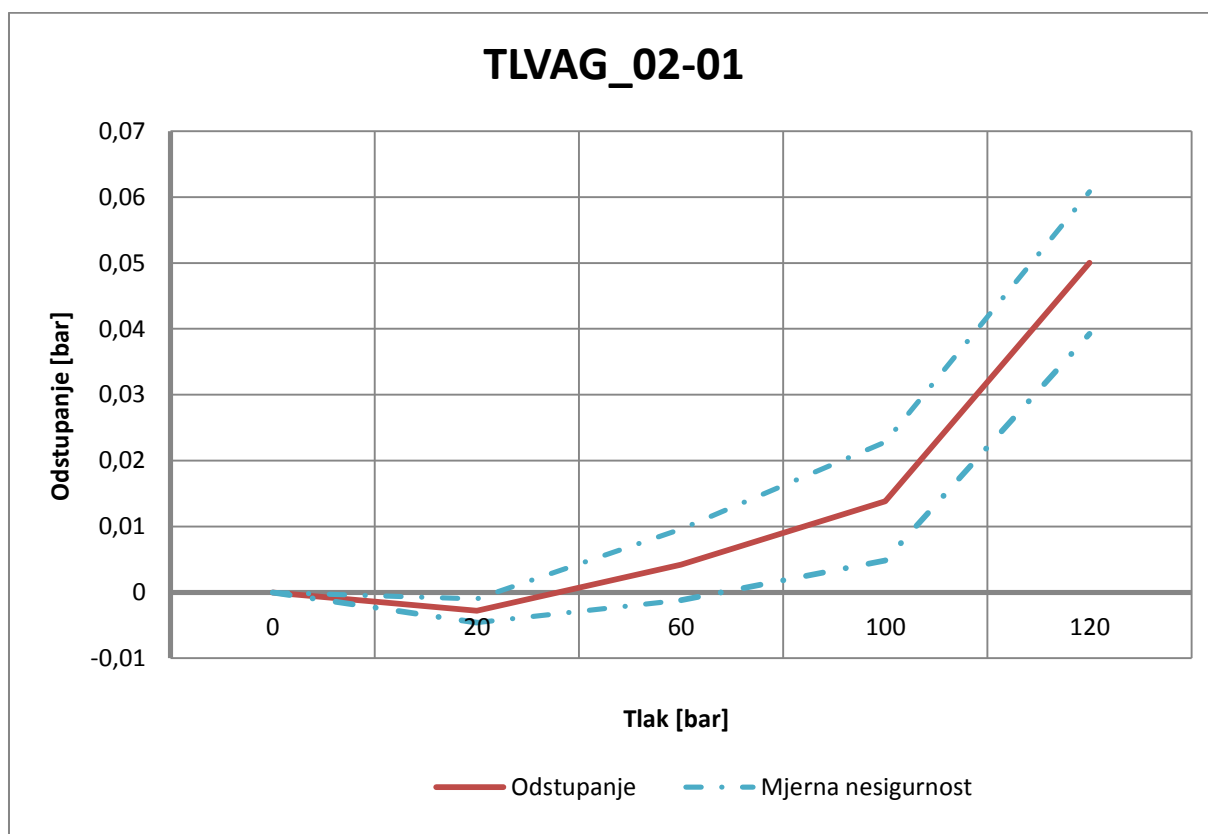
Nesigurnost etalona: $0,9 * 10^{-4}$

Uvjeti ispitivanja:

- Temperatura: 26 °C
- Temperatura sklopa: 25,7°C
- Tlak: 1001 mbar
- Relativna vlažnost: 50%
- Tlačni medij: ulje
- Razlika u visini: 40 mm

Tablica 5. Rezultati mjerenja TLVAG 02-01 (do 120 bar)

| Efektivni tlak | Očitanje mjerila | Odstupanje | Mjerna nesigurnost |
|----------------|------------------|------------|--------------------|
| p_e | M | $M-p_e$ | U |
| bar | bar | bar | bar |
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 20,00 | 20,00 | 0,00 | 0,002 |
| 60,00 | 60,00 | 0,00 | 0,005 |
| 99,99 | 100 | 0,01 | 0,009 |
| 119,98 | 120,03 | 0,05 | 0,011 |



Slika 9. Grafički prikaz odstupanja LAB 2

3.4. TLVAG 07 (do 70 bar)

Mjerilo: Pretvornik tlaka

Proizvođač: Druck

Tvornički broj: SIN 189613/Indikacija 615 16256

Tip: Osjetnik PDCR 2200-1939

Mjerno područje: 0-135

Jedinica tlaka: bar

Podjela skale: 0,01

Razred točnosti: 0,025%

Vlasnik mjerila: FSB - LPM

Radni etalon: Tlačna vaga WIKA T1300

Interna oznaka: TLVAG_07

Nesigurnost etalona: $0,5 * 10^{-4}$

Uvjeti ispitivanja:

Temperatura: 26 °C

Temperatura sklopa: 26,0°C

Tlak: 1003 mbar

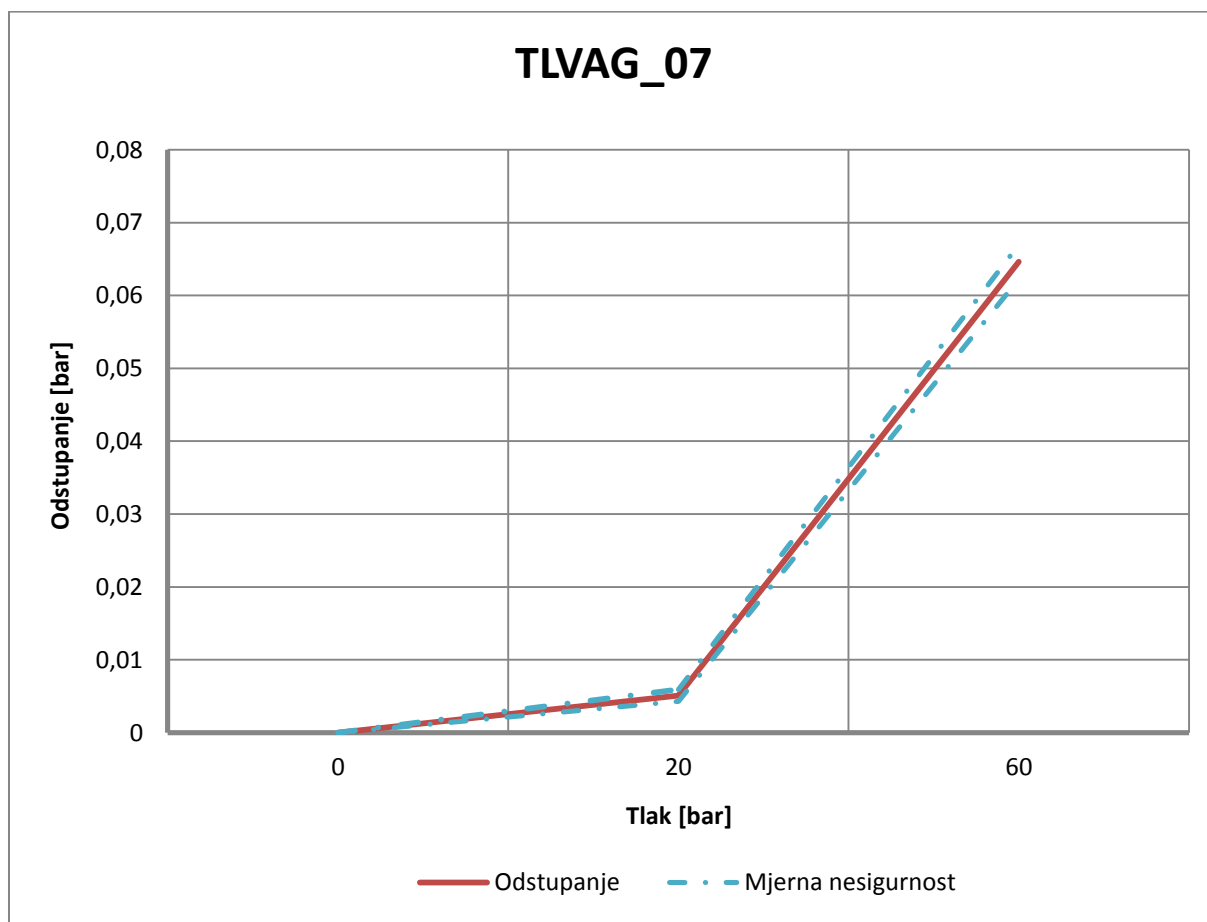
Relativna vlažnost: 52%

Tlačni medij: ulje

Razlika u visini: 140 mm

Tablica 6. Rezultati mjerenja TLVAG 07 (do 70 bar)

| Efektivni tlak | Očitanje mjerila | Odstupanje | Mjerna nesigurnost |
|----------------|------------------|------------|--------------------|
| p_e | M | $M-p_e$ | U |
| bar | bar | bar | bar |
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 19,99 | 20,00 | 0,01 | 0,001 |
| 59,96 | 60,02 | 0,06 | 0,002 |



Slika 10. Grafički prikaz odstupanja TLVAG 07 (do 70 bar)

3.5. TLVAG 08 (do 1400 bar)

Mjerilo: Pretvornik tlaka

Proizvođač: Druck

Tvornički broj: SIN 189613/Indikacija 615 16256

Tip: Osjetnik PDCR 2200-1939

Mjerno područje: 0-135

Jedinica tlaka: bar

Podjela skale: 0,01

Razred točnosti: 0,025%

Vlasnik mjerila: FSB - LPM

Radni etalon: Tlačna vaga WIKA T1300

Interna oznaka: TLVAG_08

Nesigurnost etalona: $0,5 * 10^{-4}$

Uvjeti ispitivanja:

Temperatura: 26 °C

Temperatura sklopa: 26,0°C

Tlak: 1003 mbar

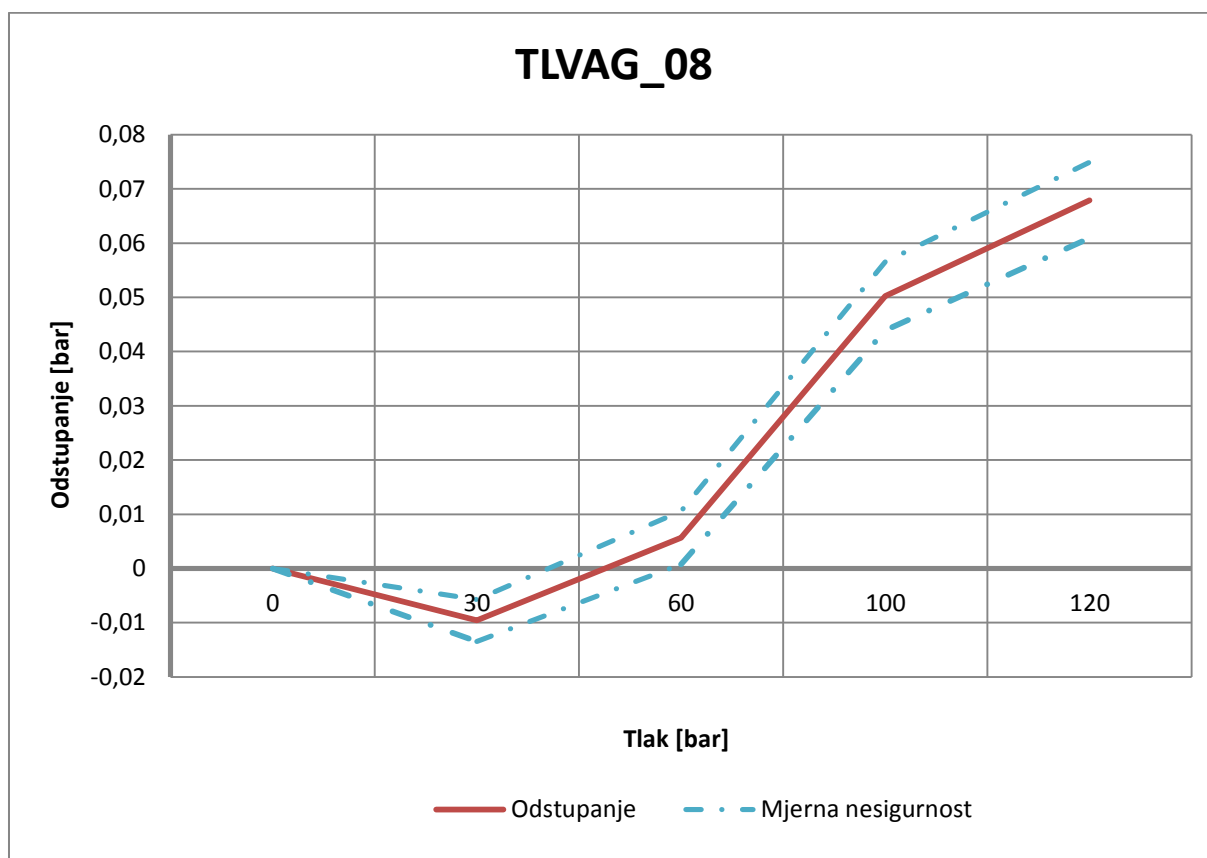
Relativna vlažnost: 52%

Tlačni medij: ulje

Razlika u visini: 140 mm

Tablica 7. Rezultati mjerenja TLVAG 08 (do 1400 bar)

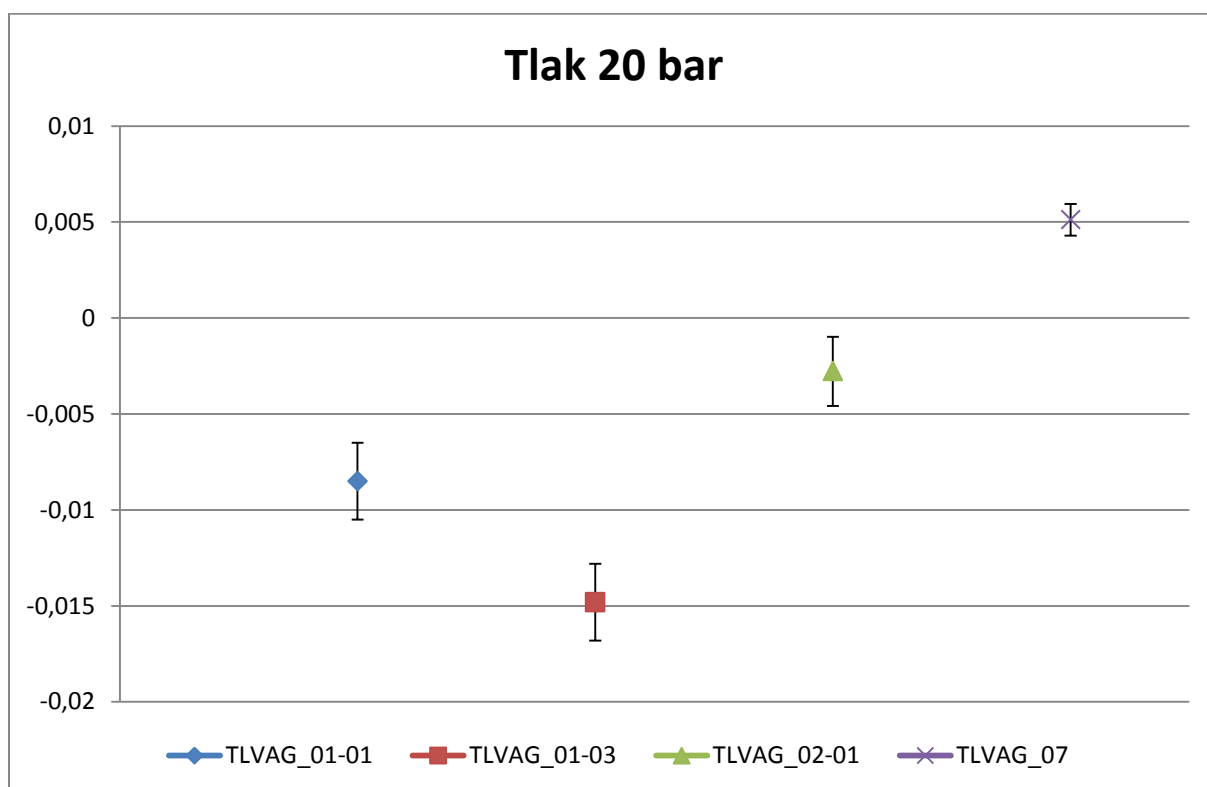
| Efektivni tlak | Očitanje mjerila | Odstupanje | Mjerna nesigurnost |
|----------------|------------------|------------|--------------------|
| p_e | M | $M-p_e$ | U |
| bar | bar | bar | bar |
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 30,01 | 30,00 | -0,01 | 0,004 |
| 60,01 | 60,02 | 0,01 | 0,005 |
| 100,02 | 100,07 | 0,05 | 0,006 |
| 120,02 | 120,09 | 0,07 | 0,007 |



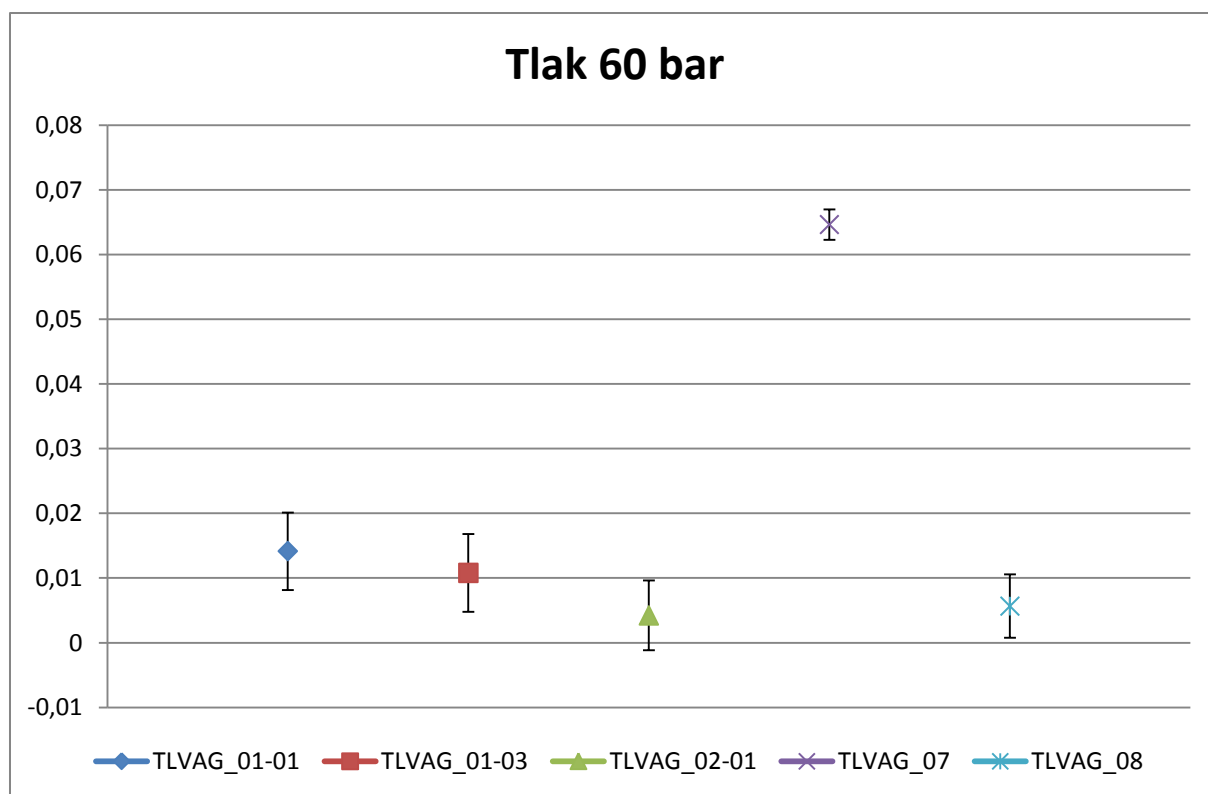
Slika 11. Grafički prikaz odstupanja TLVAG 08 (do 1400 bar)

3.6. Prikaz odstupanja tlačnih sklopova za zadane točke mjerenja

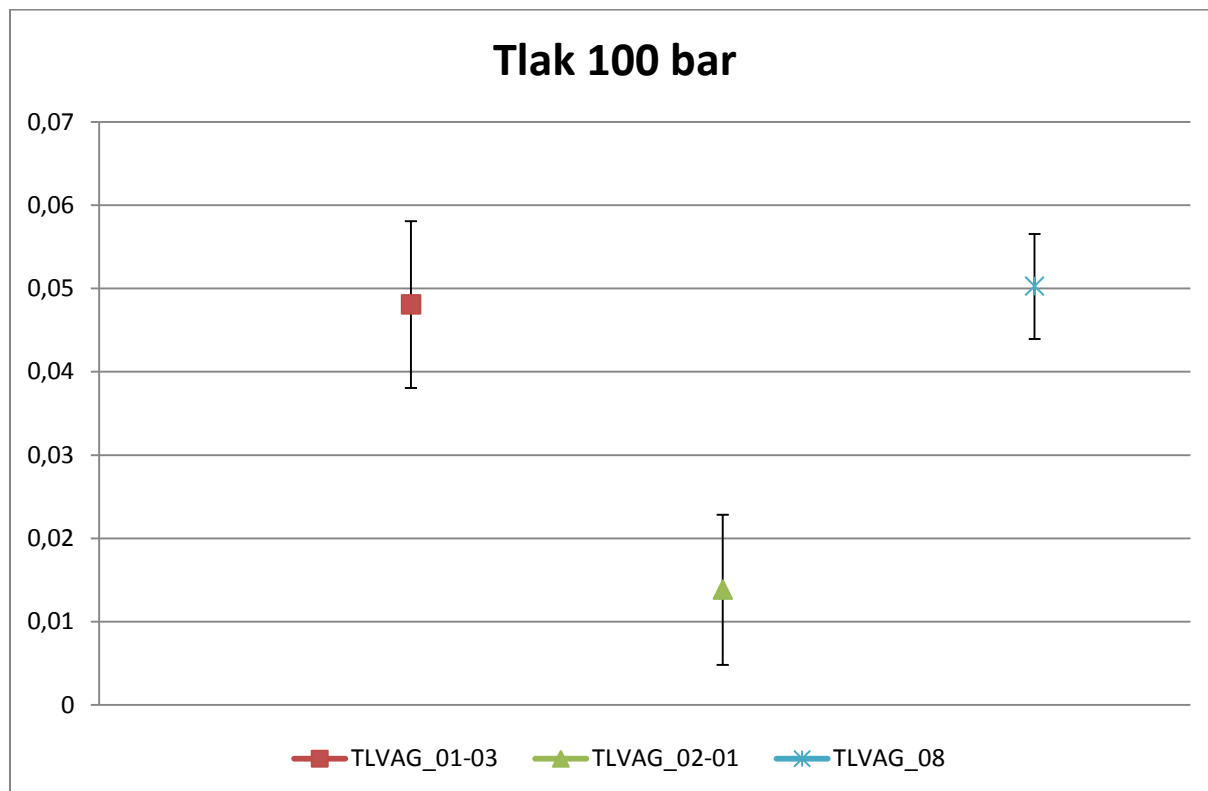
U nastavku su prikazana odstupanja i zone mjerne nesigurnosti za sve tlačne sklopove i sve radne točke (20-60-100-120 bar). Različite točke na grafovima odgovaraju različitim vrijednostima odstupanja za pojedinu tlačnu vagu, prikazanim na ordinati grafa u barima, a vertikalna os pridodana točkama omeđuje područje mjerne nesigurnosti.



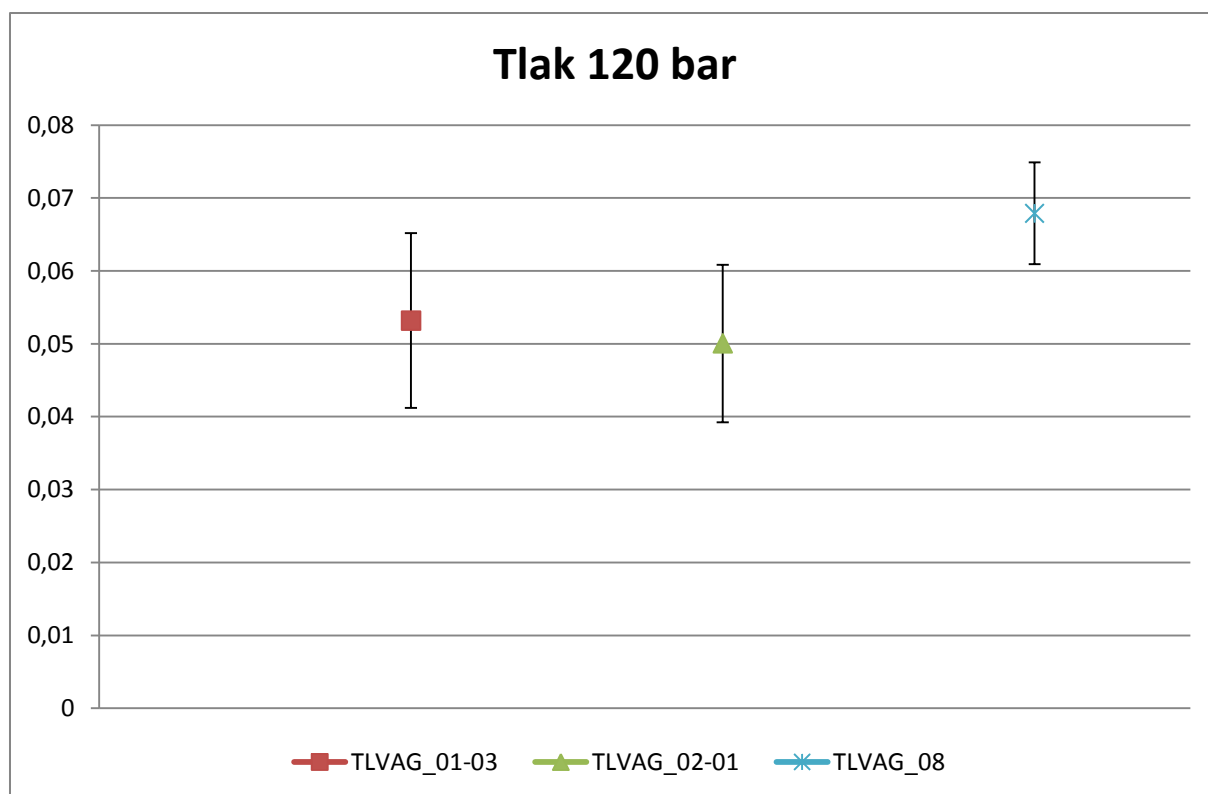
Slika 12. Grafički prikaz odstupanja za 20 bar



Slika 13. Grafički prikaz odstupanja za 60 bar



Slika 14. Grafički prikaz odstupanja za 100 bar



Slika 15. Grafički prikaz odstupanja za 120 bar

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu su obavljena mjerenja na pet različitih sklopova tlačnih vaga u svrhu interne provjere točnosti mjerila. Potrebno je bilo izračunati i pokazati odstupanja i mjerene nesigurnosti pojedinih tlačnih vaga. U radu je bila korištena oprema Laboratorija za procesna mjerenja fakulteta strojarstva i brodogradnje. Mjerenja su izvršena na 5 različitih točaka između 0 i 120 bara, a odstupanja su prikazana zasebno za svaku tlačnu vagu te za pojedine točke. Uz mjerenja je dan pregled osnova fizike mjerenja tlaka do 14 MPa, opisan je etalon i pokazan postupak određivanja efektivnog tlaka. Mjerenja potrebna za izradu ovog rada izvršena su u Laboratoriju za procesna mjerenja Fakulteta strojarstva i brodogradnje (LPM – FSB) u vremenu od nekoliko dana vodeći računa o različitim uvjetima ispitivanja. Dobiveni rezultati mjerenja su pritom prikupljeni i analizirani.

Rezultati su pokazali da sva mjerila imaju razmjerno velika odstupanja od željenih vrijednosti iako je vođeno računa o različitim korekcijama i utjecajima na sklopove. Sljedeći koraci bi bili pobliža analiza mogućih razloga većih odstupanja te umjeravanje tlačnih sklopova kako bi se mogli koristiti za što preciznija mjerenja.

LITERATURA

- [1] Runje, B.: *Predavanja iz kolegija mjeriteljstvo*
- [2] Zvizdić, D., Grgec Bermanec, L.: *Predavanja iz kolegija toplinska i procesna mjerenja*, FSB-LPM, 2010./2011.
- [3] Zvizdić, D., Grgec Bermanec, L.: *HMI- Znanstveno i/ili temeljno mjeriteljstvo*
- [4] Zvizdić, D., Grgec Bermanec, L.: *Vježbe iz kolegija toplinska i procesna mjerenja*, FSB-LPM, 2010./2011.
- [5] https://www.fsb.unizg.hr/index_.php?ztermo&lpm
- [6] <http://www.hmi.hr/>